

유휴공간을 활용한 도시물류 시스템의 안전성 향상을 위한 모델기반 분석

박재민* · 김주욱** · 김영민*

*아주대학교 시스템공학과

**한국철도기술연구원 미래교통물류연구소 첨단물류시스템연구실

Model-based Analysis to Improve the Safety of Urban Logistics System Using Vacant Space

Jae-Min Park* · Joo-Uk Kim** · Young-Min Kim*

*Department of Systems Engineering, AJOU University

**Advanced Logistics System Department, Korea Railroad Research Institute

Abstract

The growth of the online market is accelerating due to the development of technology and the pandemic era. The delivery service through the courier must be used to deliver the ordered goods to the customer through the online market. With the growth of the online market, the logistics market for delivery is also growing. The traffic and environmental problems are emerging as social issues. Urban logistics technology using underground space based on the urban railway developed to improve logistics efficiency in a metropolitan area and a new alternative to environmental problems. This study proposed a plan to secure system safety through safety analysis based on operational concept definition and scenario analysis by applying model-based perspective analysis to the system under development.

Keywords : Model-based Systems Engineering, Safety Analysis, Urban Logistics, Underground Logistics

1. 서론

기술의 발전에 따른 온라인 시장의 성장[1]과 코로나 19로 인한 팬데믹 시대의 도래로 물류시장의 성장이 가속화되고 있다[2]. 통계청에 따르면 국내 물류산업은 2001년 59.4조에서 2018년 146.9조로 약 2.4배가 증가하였으며[3], 그 성장세가 지속되고 있다. 판매자는 고객에게 의뢰받은 상품을 전달하기 위해 택배사를 통한 물류 운송 서비스를 이용해야 한다[4]. 이러한 배송 과정은 대부분 화석연료를 사용하는 화물 트럭들에 의해 운송된다. [Figure 1]과 같이 한국교통연구원의 2016년 조사 결과에 따르면 도로운송 분담률은 톤 기준 91.1%, 수송비 기준 96.2%로 가장 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 확인

되었다[5]. 배송이 필요한 화물의 소량, 다빈도화로 인한 배송용 화물 차량의 증가는 2016년 기준 46.7조원(GPD)의 2.9% 수준)의 교통혼잡비용을 발생시키고[6] 차량에서 배출되는 배기가스로 인한 대기오염, 온실가스, 교통사고, 도로 파손 등의 사회적 비용도 발생하고 있어 이에 대한 대책이 필요한 상황이다.

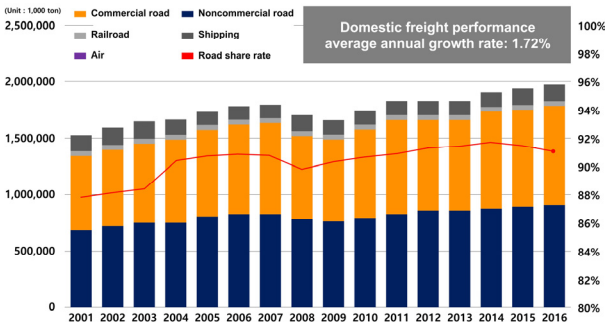
지구온난화로 인한 전 세계적인 탄소 저감을 위한 움직임과 관련 규제가 증가하고 있는 추세[7]에 맞춰 한국도 2018년 탄소 저감을 위한 '2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안'을 통해 관련 사항에 대응하고 있다[8]. 로드맵은 교통 부문에서 전기자동차의 보급 확대, 철도수송 분담률 제고, 녹색 물류 효율화 등의 계획이 수립되어 있다. 최근에는 국가적인 혼잡비용과 사회적 비용을 발생시키고 있는 수도권 물류 시스템을 도

†본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원에 의하여 수행되었음(21HCLP-C162730-01).

†Corresponding Author : Young-min Kim, Systems Engineering, AJOU University, 206, World cup-ro, Suwon-si, Gyeonggi-do, E-mail: pretty0m@ajou.ac.kr

Received January 6, 2022; Revision March 11, 2022; Accepted March 16, 2022

로 위주의 수송에는 친환경 대량 운송이 가능한 철도시설을 활용한 철도 위주의 물류 시스템으로 변화시키고자 하는 지하공간을 활용한 도시물류 운송 기술이 개발되고 있다. 개발 기술은 도시철도를 활용하는 새로운 개념의 운송 시스템이며, 화물의 운송을 위해 다수의 장치들이 연계되어 작동하는 시스템으로 안전성과 신뢰성의 확보가 필수적이다. 본 연구는 도시철도 인프라를 기반으로 하는 지하공간을 활용한 도시물류 기술의 보다 안전한 시스템 운영이 가능하도록 시스템 개념을 대상으로 하는 모델기반 분석과 안전분석을 수행했다. 이를 위해 모델기반 관점을 기반으로 하는 분석 결과를 우선적으로 도출하였으며, 도출된 사항을 통해 시스템 개념 단계에서의 안전에 영향을 미치는 사항을 식별하고 이에 대한 대안을 제시하여 보다 안전이 확보되는 시스템이 구축될 수 있도록 제안했다.



[Figure 1] 2016 National Logistics Expense Survey Calculation (Korea Transport Institute, 2019)

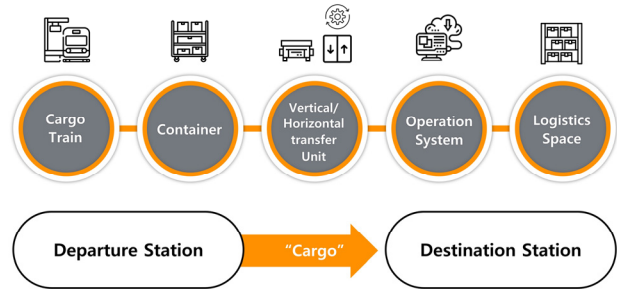
2. 문제의 정의

2.1 지하공간을 활용한 도시물류 기술개발

지하공간을 활용한 도시물류 기술은 도심 내 도시철도 인프라를 활용한 화물 운송 시스템 및 공간 개발 기술이다. 지하공간을 활용한 도시물류 시스템 구축을 위해서는 선로를 통해 화물 운송이 가능한 화물열차, 화물 적재용 화물운송표준용기, 화물운송표준용기의 이송을 위한 수평 이송장치, 역사 내 수평이송장치의 층간 이송을 담당하는 수직이송장치, 관제시스템과 운영시스템 기술로 구성된다. 개발 기술은 도심 내 구축된 도시철도 인프라를 활용하기 때문에 도로운송에 집중되어 있는 물류운송 비중을 철도운송으로 분담하여 보다 효율적이고 친환경적인 물류 운송 시스템이 구성되도록 하는 기술이다.

지하공간을 활용한 도시물류 시스템은 출발지로부터 목적지까지 화물을 운송하기 위해 [Figure 2]와 같이 각기 다른 역할을 수행하는 장치들이 연동되어 운영된다. 개

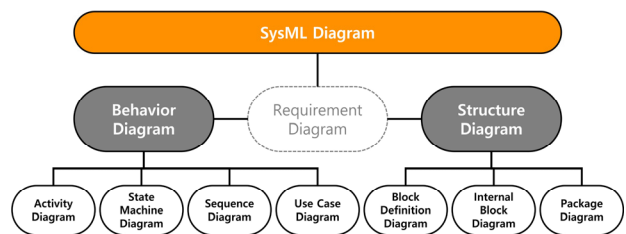
발 기술은 하나의 시스템 안에 기능 수행을 위한 다수의 서브시스템들이 구성되어 있으며, 이러한 복잡한 시스템의 안정적인 운영을 위해서는 대상 시스템에 대한 모델기반 시스템 엔지니어링 관점의 접근과 분석 [9] 그리고 안전에 대한 고려가 필요하다.



[Figure 2] Urban logistics system composition

2.2 모델 기반 시스템 분석

현대의 시스템은 복잡도가 증가하는 추세이며, 대형 시스템들이 증가하고 있어 안전과 관련된 모든 활동이 시스템 설계 초기부터 폐기에 이르기까지 전 수명주기에 반영되어야 한다 [10]. 모델기반 시스템 엔지니어링 분석은 기술의 발전으로 복잡성이 증가하고 있는 시스템을 분석하고 시스템의 필수적인 측면을 고려한 결과를 도출하여 시스템 관련 이해관계자들 간의 원활한 이해와 소통이 가능하도록 하는 시스템 엔지니어링 기법이다. 시스템 분석과 관련하여 시스템 엔지니어링과 모델기반 관점을 적용한 연구들도 수행되었으며 [11-12], 모델기반 분석에 활용되는 SysML (System Modeling Language)은 시스템 분석 결과를 시각화 모델링으로 구현하여 시스템 모델링에 대한 효율적인 지원이 가능하다 [13].



[Figure 3] System Modeling Language (SysML)

SysML은 [Figure 3]과 같이 시스템 모델링을 효율적으로 지원하기 위해 국제 시스템엔지니어링협회 INCOSE (International Council on Systems Engineering)에 의해 정의되고 개발되었다 [14]. 모델기반 분석은 구조적 관점과 거동적 관점을 기반으로 대상 시스템을 분석하며, 지하공간을 활용한 도시물류 기술과 같은 복잡한 시스템

의 분석에 탁월한 시스템 엔지니어링 분석 기법으로 개발 중인 시스템에 적용이 적합하다.

2.3 선행 연구의 한계

모델기반 시스템 엔지니어링 접근을 통한 성능시험 및 안전기준 요구사항 관리체계 구축에 관한 연구가 수행되었다[15]. 선행연구는 체계 구축을 위해 시스템 엔지니어링 접근 및 전산 지원 도구의 필요성에 대한 연구를 수행하고 안전체계 구축과 관련된 결과를 제안했으나 대상 시스템의 관리 모델을 구축하고 추적성을 확보하는 시스템의 구조적 접근에 집중되어 있었다. 모델기반 시스템 엔지니어링을 기반으로 안전 및 신뢰성 분석 통합에 대한 연구도 수행되었으며[16], 모델기반 기술의 사용이 시스템 기술 개발에 적합하다는 것을 확인시켜 주었으나 관련 방법론에 집중되어 있다는 한계를 가지고 있었다. SysML 기반 시스템 엔지니어링 접근 방식에 안전 분석을 통합하는 연구도 수행되었다[17]. 연구는 시스템의 복잡성 증가에 대응하고자 재설계 과정을 줄이고 FMEA와 FTA를 자동으로 생성하는 프레임워크를 제안하였으나 SysML 기반 프로세스에 집중되어 있었다. 모델기반 신뢰성과 안전성을 위해 구성 요소의 Fault Tree Analysis(FTA)를 활용한 안전성 분석의 복잡성을 줄이기 위한 연구도 수행되었으나[18] 관련 기법의 비교와 사례 연구에 제한되어 있다는 한계를 가지고 있었다.

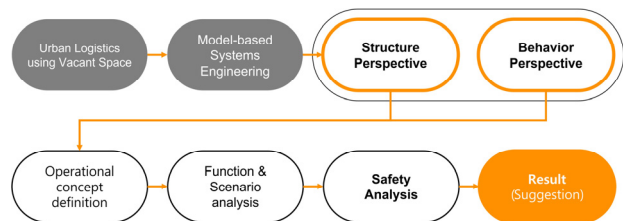
관련 선행 연구들은 모델기반 시스템 엔지니어링 분석을 시스템 개발에 활용하고 안전성을 확보하기 위한 연구를 수행했다. 하지만 선행 연구들은 대상이 되는 시스템 모델에 중점을 두기보다는 관련 방법론과 개선방안 그리고 사례연구에 집중하고 있었다.

2.4 연구의 범위 및 접근 방법

본 연구는 개발 중인 지하공간을 활용한 도시물류 기술 개발 시스템을 대상으로 하는 모델기반 분석과 안전분석을 수행하여 보다 안전이 확보된 시스템으로 개발될 수 있도록 연구 결과를 제안했다. 대상 시스템은 도시철도로 화물을 운송하는 새로운 개념이며, 시스템의 목표를 수행하기 위해 각기 다른 서브시스템으로 구성되어 있는 복잡한 시스템이다. 이러한 시스템을 분석하기 위해서는 선행연구들과 같이 모델기반 시스템엔지니어링 관점을 적용한 연구가 필수적으로 수행되어야 한다. 이를 위해 본 연구는 대상 시스템에 대한 모델기반 구조적, 거동적 관점의 분석을 수행하고 시스템의 복잡성에 대한 제어가 가능하도록 구성요소들을 식별하고 관련 사항을 정의하여 시스템의 인식과 이해를 높이고 서브시스템들의 관계에 대한 파악

이 가능하도록 연구를 수행했다. 또한 연구의 결과로 도출된 사항을 기반으로 안전분석을 수행하고 그 결과를 시스템에 제안 및 반영하여 안전이 확보된 시스템이 구성되는데 도움이 되고자 했다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서는 연구의 배경과 기술 개발의 필요성 그리고 목표에 대해 다뤘다. 2장에서는 모델기반 분석과 관련된 선행연구 사례들을 파악하였으며, 문제의 정의와 연구의 범위 및 연구 방법을 정의했다. 3장에서는 시스템 개념의 모델기반 관점 분석을 수행하여 시스템의 운용개념 정의, 구조 및 기능 정의와 운영 시나리오를 구성하고 O&SHA (Operating and support hazard analysis)를 활용한 안전 분석을 수행하여 관련 사항을 도출했다. 4장에서는 연구의 결과를 정리하였으며, 연구의 구성은 [Figure 4]와 같다.

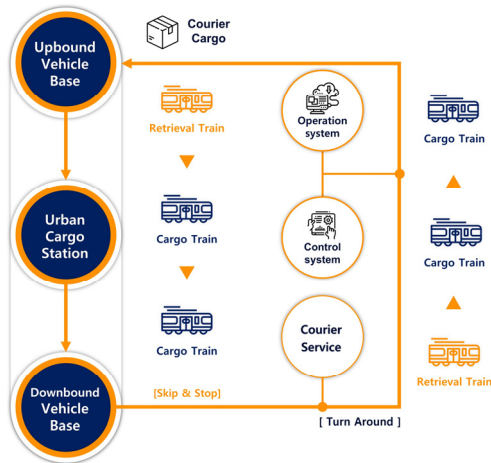


[Figure 4] Objective and perspective

3. 모델기반 시스템 분석 및 안전분석

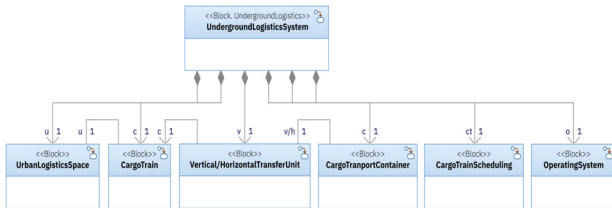
3.1 모델기반 구조적 관점의 시스템 분석

지하공간을 활용한 도시물류 기술개발은 도심 내 도시철도 인프라를 통해 화물들을 운송하는 시스템이다. 대상 시스템의 구조적 관점의 분석을 위해 전체 시스템의 운용개념을 [Figure 5]와 같이 정의하였다. 대상 시스템은 목적지 역로의 화물 운송을 위해 기존의 여객열차와 구분되어 화물을 운송하는 화물열차를 활용하며, 화물열차는 화물을 운송하기 위해 여객열차와 동일한 선로에서 여객 열차의 배차 간격 사이에 위치하여 운영된다. 화물열차를 통해 운송되는 화물의 상차와 하차를 위해서는 화물열차가 접근 가능한 차량기지 물류공간과 역사 내 하차 플랫폼 공간이 필요하며, 역사에서 화물의 단말배송(Lastmile)을 위한 물류공간도 구성되어야 한다. 운송되는 화물은 효율성과 신속한 하차를 위해 열차 내 직접 적재되는 방식이 아닌 다수의 화물을 운송할 수 있는 화물운송표준용기에 적재된 후 이를 이송할 수 있는 자동화 장치인 수평이송장치를 통해 열차에 탑승 및 이송된다. 또한 역사 내 화물의 층간 이송을 위해서는 수직이송이 가능한 수직이송장치가 활용된다.



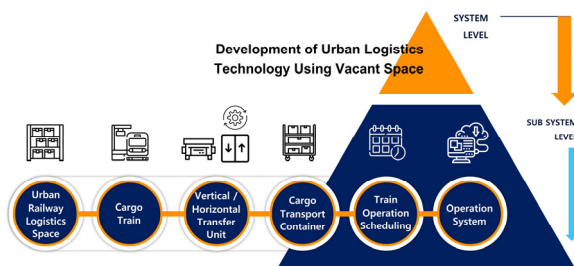
[Figure 5] Operational Concept of systems

지하공간을 활용한 도시물류 시스템이 출발지로부터 목적지까지 화물을 운송하기 위해서는 전체 시스템의 안정적인 운영과 서브시스템 연계를 통한 원활한 작동이 이뤄져야 한다. 운영 개념 정의를 통해 대상 시스템에 대한 구조적 관점의 분석을 수행하였으며, [Figure 6]과 같이 Block Definition Diagram을 도출하였다.



[Figure 6] Block definition diagram

도출된 결과를 통해 장치 간의 인터페이스를 식별하고 전체 시스템의 구성에 대해 정의하였으며, 물리적인 시스템 외에 운영과 관련된 운영시스템에 대해 파악하였다. 운영시스템 외에 서브시스템의 개별 장치들을 제어하는 관제시스템과 화물역에서 회수가 필요한 화물의 운송을 수행하는 회수열차에 대한 사항도 식별했다. 정의된 서브시스템은 도시철도 물류공간, 화물열차(회수열차), 수직/수평이송장치, 화물운송표준용기, 열차운영 스케줄링, 운영(관제)시스템이며, [Figure 7]은 구조적 관점으로 분석된 결과를 계층적으로 시각화한 것이다.



[Figure 7] System hierarchy structure

3.2 모델기반 거동적 관점의 시스템 분석

지하공간을 활용한 도시물류 기술개발의 구조적 관점을 통해 시스템의 구성에 대해 정의했다. 이를 기반으로 거동적 관점의 분석을 수행하였으며, 시스템의 기능과 시나리오를 정의했다. 대상 시스템과 서브시스템의 기능은 <Table 1>과 같으며, 시스템의 전체 기능을 기준으로 서브시스템들의 기능을 정의했다. 이를 기반으로 전체 시스템의 시나리오를 식별하였으며, 구성된 시나리오 단계는 차량기지 물류공간으로의 화물입고를 시작으로 화물상차, 운송, 하차, 역사적치, 화물출고로 구성 및 정의했다.

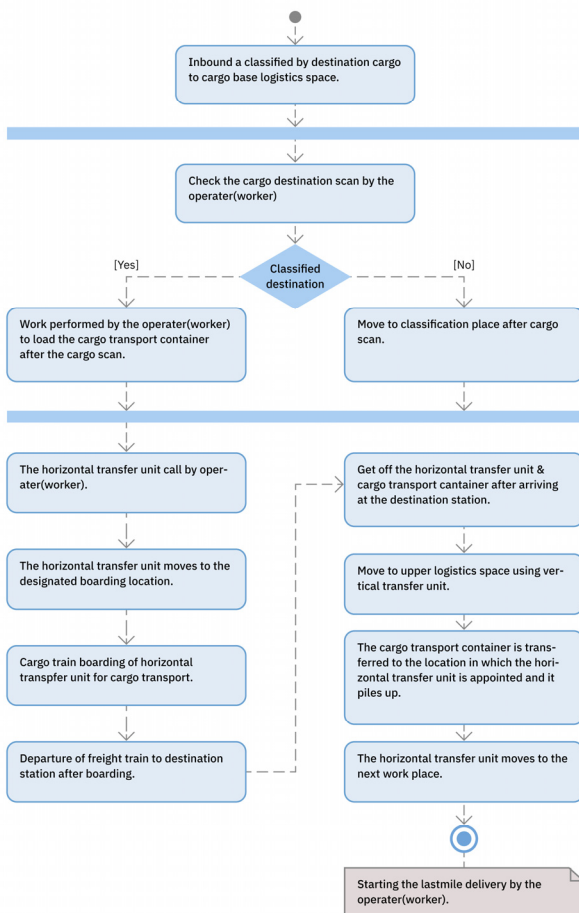
<Table 1> Function of System & Sub system

Level	Division	Function
System	Urban logistics using underground space	Cargo transfer
Sub System	Urban railway logistics space	Cargo loading & unloading(Cargo classification)
	Cargo train (Retrieval rrain)	Cargo transfer & retrieval
	Vertical/Horizontal transfer unit	Vertical cargo transfer, Horizontal cargo transfer
	Cargo transport container	Loading Cargo
	Train operation scheduling	Cargo train schedule control
	Operation system (Control system)	System operate & control

정의된 개념 기반 시스템의 작동 구성은 Activity Diagram을 통해 표현된 [Figure 8]과 같으며, 화물상차는 차량기지 에서 목적지별로 분류된 화물을 작업자가 화물운송표준용기에 적재하는 작업을 시작으로 수평이송장치에 의한 화물열차 탑승과 목적지 역으로의 화물열차 출발로 구성된다. 화물열차를 통해 목적지 역으로 운송된 화물운송표준용기는 수평이송장치에 의해 자동으로 하차된다. 화물열차에서 하차한 수평이송장치는 중간 이송을 위해 수직이송장치에 탑승 후 수직 방향으로 이송된다. 수평이송장치는 상층부의 역사 물류공간으로 이송 후 지정 위치로 이동하여 화물운송표준용기를 분리 후 적치한다. 적치된 화물운송표준용기의 화물은 단말배송 작업자에 의해 목적지로 개별 운송 수단을 통해 출고된다. 거동적 관점 분석을 통해 시스템 개념 수준의 전체 시나리오와 세부 시나리오를 정의하였으며, 대상 시스템의 세부 시나리오는 <Table 2>와 같다. 모델기반 구조적, 거동적 관점으로 도출된 결과를 기반으로 대상 시스템의 안전성 확보를 위한 안전분석을 수행했다.

3.3 모델기반 시스템 안전분석

모델기반 구조적 관점과 거동적 관점을 기반으로 도출한 시스템 구성 및 시나리오 정의를 통해 지하공간을 활용한 도시물류 시스템에 대한 안전분석을 수행했다. 안전분석을 위해 운영 및 지원상의 위험원 분석에 적합한 기법인 O&SHA(Operating and support hazard analysis)를 적용하여 결과를 도출했다. O&SHA는 운용 또는 유지보수 활동 결과에 따라 발생할 수 있는 위험원들을 식별하고 이를 최소화하고 제거하기 위한 대책을 제안하여 시스템에 반영하는 분석 기법으로 개념 수준의 시스템에 적합하여 본 연구에 적용했다[19]. 대상 시스템은 목표 달성을 위해 각각의 기능을 수행하는 서브시스템들이 연결되어 있고 기존 도시철도 인프라를 활용하여 화물을 운송하도록 구성되었기 때문에 보다 안전한 운영을 위해 연관된 인터페이스도 고려하여 O&SHA를 적용하고 결과를 도출했다. 안전분석은 전체 시스템 개념과 모델기반 관점을 통해 도출된 사항을 기반으로 Task와 Hazard, Cause, Effect 분석을 통해 위험관련 사항을 파악하였으며, Severity와 Probability를 기준으로 위험의 정도를 측정하고 발생 원인을 제거할 수 있도록 Recommendation 결과를 도출했다. 안전분석 결과 도출을 위한 평가 기준은 <Table 3>과 같으며, O&SHA Worksheet를 활용한 안전분석 결과는 <Table 4>와 같다.



[Figure 8] Activity diagram

<Table 2> Model-based system's scenario

Level	No	Scenario	Location
1. Cargo in	1-1	Arrive at the vehicle base of cargo classified by destination. (Preparation of system)	Upbound vehicle base
2. Cargo loading	2-1	Work performed by the operator at the vehicle base to load in the cargo transport container after the cargo scan work. (System Start)	Vehicle base logistics space
	2-2	The cargo transport container transfers through the horizontal transfer unit called with operator to the cargo train boarding position.	Vehicle base logistics space
	2-3	A horizontal transfer unit and a cargo transport container are on board the designated cargo train. (The cargo train operates separately from the passenger train)	Vehicle base logistics space
3. Cargo transfer	3-1	The cargo train departs and moves to the destination station after the horizontal transfer unit completes boarding.	Cargo train
4. Cargo unloading	4-1	After arriving at the destination station, the cargo transport container and the horizontal transfer unit begin to get off to the station platform.	Cargo train
	4-2	The cargo transport container and horizontal transfer unit move to the vertical transfer unit for the inter-layer transfer after getting off the cargo train.	Station logistics space
	4-3	The cargo transport container and horizontal transfer unit are transfer through the vertical transfer unit to the logistics space of the top inter-layer.	Station logistics space
5. Cargo storage	5-1	The horizontal transfer unit moves to the designated location after the logistics space arrival.	Station logistics space
	5-2	After the designated location arrival, the cargo transport container is loaded and the horizontal transfer unit is moved by the system to the next working place. (End of the system)	Station logistics space
6. Cargo shipment	6-1	The loaded cargo is shipped by the last-mile delivery operator after classification and scan according to the destination location.	Station logistics space

<Table 3> Evaluation Criteria [19]

Criteria	Severity	Probability
Level	Catastrophic Critical Marginal Negligible	A. Frequent B. Probable C. Occasional D. Remote E. Improbable

<Table 4> Safety analysis result and suggestion

Procedure task	Hazardous condition	Cause	Effect	Severity	Probability	Recommendation	Item
Cargo transfer	Separation of the horizontal transfer unit and cargo transport container	No connecting device for horizontal transfer	Cargo crash and unit separation	Critical	Frequent	Design and application of connection unit	1
	Opening of the cargo transport container door during transportation	The door lock omission of operator	Cargo fall	Marginal	Frequent	Automatic door lock design application	2
Cargo train boarding	Interval between the cargo train and the platform	No connection between train and platform	Unit and cargo damage	Catastrophic	Probable	Train-only gap filler design	3
	The operation of the train door in horizontal transfer unit up and down	No door safety sensors	The collision of door and horizontal transfer unit	Critical	Probable	Door detection sensor application	4
Cargo train transfer	The movement of the horizontal transfer unit	No binding devices for trains and horizontal transfer unit	Collision or damage to the unit and cargo	Critical	Frequent	Application of binding devices in train	5
Horizontal transfer	Collision between horizontal transfer units	No detection sensors between units	Collision or damage to the unit and cargo	Critical	Probable	Sensor application for interval recognition	6
	Collision between the horizontal transfer unit and operator	No collision prevention unit and no access fence	Worker injury caused by collision	Critical	Occasional	Application of sensor and access prohibition pence	7
	Horizontal transfer unit state confirmation not possible	No external display	Unit state uncheckable	Marginal	Probable	State display application	8
	Horizontal transfer unit direct control uncontrollable	No external control	Uncontrollable inot of operator	Critical	Probable	Control unit application	9
	Floor guide line damage	Guideline damage due to environmental and external factors	The movement inability of the horizontal transfer unit	Critical	Occasional	Guide line access prohibition application	10
Vertical transfer	Cargo movement and impact due to malfunction during vertical transfer	No unit binding device	Cargo damage and container damage	Catastrophic	Probable	Binding unit application	11
	The occurrence of a vertical unit on board interval of a horizontal transfer unit	Boarding interval uncontrollable	Unit and Cargo Damage	Critical	Probable	Design and application of interval control units	12
	Vertical transfer unit state confirmation is not possible	No external display	Unit state uncheckable	Critical	Probable	Unit state display application	13
	Vertical transfer unit direct uncontrollable	No external control	Uncontrollable unit of operator	Critical	Probable	Control unit application	14
	Sequence error on board the unit	Sequence difference generation between units	Crash and crash risk while on board	Catastrophic	Probable	System interlocking control application	15

3.4 안전분석 결과를 통한 시스템 안전성 확보

지하공간을 활용한 도시물류 시스템에 대한 모델기반 구조적 관점과 거동적 관점으로 도출된 결과를 기반으로 안전분석을 수행한 결과를 도출하였으며, 분석 결과의 제안 사항을 기반으로 하는 시스템 설계 반영 사항을 도출했다. 분석 결과 대상 시스템은 도시철도를 활용해서 많은 수의 화물을 화물열차, 복수의 수평이송장치와 화물운송 표준용기 그리고 수직이송장치를 통해 고하중의 화물을 운송하기 때문에 위험이 발생할 수 있는 요소가 다수 확인되었으며, 각 위험 상황은 발생 정도가 다를 수는 있으나 사고가 발생할 경우 치명적이고 심각한 수준의 사고로 이어질 수 있다는 점을 확인했다.

대상 시스템이 보다 안전성이 확보된 시스템으로 구축될 수 있도록 분석의 결과로 도출된 각 위험 원인을 제거할 수 있는 사항을 도출하였으며, 이를 개발 중인 시스템에 제안하여 위험성을 감소시키고 안전성이 향상된 시스템으로 구축될 수 있도록 했다. 연구를 통해 제안된 안전 제안 사항은 안전분석 기법을 통해 도출된 사항을 기반으로 제거할 수 있도록 제안하였으며, 시스템과 위험에 따른 안전성 향상을 위한 제안 및 시스템 설계 반영 사항은 <Table 5>와 같다.

<Table 5> Design reflection

Object	Recommendation	Design reflection	Item
Horizontal transfer unit	Design and Application of Connection Device	Unit-to-unit coupling application	1
	Sensor application for interval recognition	Recognition sensor application between units	6
	State display application	Unit display application	8
	Control unit application	Uniy stop button application	9
Cargo transport container	Automatic door lock design application	Automatic door locking device application	2
Cargo train	Train-only gap filler design	Design and application of gap filler for interval connection	3
	Door detection sensor application	Door detection sensor application to cargo train	4

Object	Recommendation	Design reflection	Item
	Application of binding devices in train	Application of binding system in cargo train	5
Horizontal transfer unit & logistics space	Application of sensor and access prohibition pence	Sensor and pence application	7
Urban railway logistics space	Guide line access prohibition application	Path protection fence application	10
Vertical transfer unit	Binding device design and application	Application of a binding device during vertical transfer	11
	Design and application of interval control units	interval minimization design application	12
	Unit state display application	Unit state display application	13
	Control unit application	Unit stop button application	14
	System interlocking control application	Control system design application	15

4. 결론

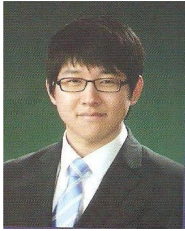
본 연구는 도심 내 도시철도 인프라를 활용하여 화물을 운송하는 지하공간을 활용한 도시물류 기술개발을 대상으로 모델기반 분석과 안전분석을 수행하여 결과를 도출하고 이를 개발 중인 시스템에 적용하는 연구를 수행했다. 대상 시스템의 분석과 정확한 이해를 위해 모델기반 분석의 구조적 관점과 거동적 관점을 적용하여 시스템의 운영 개념 정의와 구조 정의 및 기능 식별과 시나리오를 도출했다. 또한 이를 기반으로 수행한 안전분석 결과를 개발중인 시스템에 제안했다. 대상 시스템은 도시철도를 활용하여 화물을 운송하는 새로운 개념의 시스템이며, 다수의 서브 시스템들로 구성되어 있다. 전체 시스템이 목표로 하는 기능 구현과 목적을 달성하기 위한 목표사양 성능의 충족도 중요하지만 실제 도심 내 운영되기 위해서는 안전한 시스템 운영도 중요하다. 이를 위해 본 연구는 제안하는 안전 분석의 결과를 시스템 개발에 적용하여 보다 안전한 시스템이 구축되는데 기여하고자 했다.

추후 대상 시스템에 대한 상세 개발을 진행하면서 추가 정의 사항과 시스템 확정 사양을 기반으로 보다 세밀한 안전 분석 연구를 수행하여 안전한 시스템이 구축될 수 있도록 기여하는 연구를 지속적으로 진행하고자 한다.

5. References

- [1] K. J. Lin(2018), "E-commerce technology: Back to a prominent future." *IEEE Internet Computing*, 60-65.
- [2] M. Nicola, Z. Alsafi, C. Sohrabi, A. Kerwan, A. Al-Jabir, C. Losifidis, R. Agha(2020), "The socio-economic implication of the coronavirus pandemic(COVID-19): A review." *International Journal of Surgery*, 78:185-193.
- [3] Statics Korea(2020), *Transport survey results for 2019(Logistics industry statistics inclusion)*.
- [4] K. R. Ahn, C. K. Park(2016), "A study on the e-document development of parcel service for reliable delivery." *Society for E-business Studies*, 21(2):47-59.
- [5] H. K. Kwon, S. H. Hur, T. W. Kwon, D. M. Gye(2019), *Korean national logistics costs in 2016*. Korea Transport Institute, 1-133.
- [6] J. Y. Kim, S. H. Cheon, Y. I. Park(2018), *A study on ensuring continuity of national traffic congestion cost*. Korea Transport Institute, 1-137.
- [7] Y. M. Wei, R. Han, C. Wang, B. Yu, Q. M. Liang, X. C. Yuan, Z. Yang(2020), "Self-preservation strategy for approaching global warming targets in the post-Paris Agreement era." *Nature Communication*, 25(2):1-13.
- [8] P. S. Kwon, S. J. Kim(2017), "Scenario analysis for achievement of the 2030 national greenhouse gas reduction goal in the Korean electricity sector." *Korea Environmental Policy and Administration Society*, 25(2):129-163.
- [9] J. Y. Kim, B. S. Ham, C. H. Cho, B. S. Lee(2010), "A study on the application of systems engineer for systems of system." *The Korean Society of Systems Engineering*, 6(1):15-23.
- [10] J. C. Kim, J. C. Lee(2011), "On the development of systems safety requirements using hazard analysis results." *Korea Safety Management & Science*, 13(4):9-16.
- [11] H. S. Yang, J. D. Jang, J. H. Sang, W. Choi, H. J. Lee, S. Y. Lee(2017), "A study on requirements development process using model based systems engineering approach." *The Korean Society of Systems Engineering*, 13(1):51-56.
- [12] C. S. Park, T. H. Lee, S. H. Choi, K. H. Kim(2008), "Introduction to SE process application on the development project of the Korean High-speed Train(HSR 350-x)." *The Korean Society of Systems Engineering*, 4(2):15-26.
- [13] K. S. Geum, J. K. Kim, S. J. Kim(2016), "A safety analysis methodology based on MBSE process." *The Korean Society of Automotive Engineers*, 1200-1203.
- [14] S. Friedenthal, A. Moore, R. Steiner(2007), *OMG systems modeling language tutorial*. INCOSE.
- [15] G. Biggs, T. Juknevičius, A. Armonas, K. Post(2018), "Integrating safety and reliability analysis into MBSE: Overview of the new proposed OMG standard." *IncoSE International Symposium*, 1322-1336.
- [16] F. Belmonte, E. Soubiran(2012), "A model-based approach for safety analysis." *International Conference on Computer Safety, Reliability and Security*, Springer, 50-63.
- [17] F. Mhenni, N. Nguyen, J. Y. Choley(2021), "SafeSysE: A safety analysis integration in systems engineering approach." *IEEE Systems Journal*, 12(1):161-172.
- [18] K. Hofig, A. Joanni, M. Zeller, F. Monyrone, R. Amarnath, P. Munk, A. Nordmann(2018), "Model-based reliability and safety: Reducing the complexity of safety analyses using component fault trees." *IEEE, Annual Reliability and Maintainability Symposium(RAMS)*, 1-7.
- [19] C. A. Ericson(2005), *Hazard analysis techniques for system safety*. John Wiley & Sons.

저자 소개



박재민

현 아주대학교 시스템공학과 박사과정.
관심분야 : 시스템 안전설계, 요구사항 관리,
모델기반 시스템공학, Modeling & Simulation 등.
주소: 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206 아주
대학교 성호관 244호



김주욱

현 한국철도기술연구원 미래교통물류연구소
첨단물류시스템연구실 책임연구원. 아주대학
교 시스템공학과 박사.
관심분야 : 물류 및 철도 시스템엔지니어링, 철
도 안전 및 신뢰성, 아키텍처 프레임워크 등.
주소: 경기도 의왕시 철도박물관 176 한국철
도기술연구원 미래교통물류연구소 첨단물류
시스템연구실



김영민

현 아주대학교 시스템공학과 교수.
관심분야 : 자율주행자동차 안전 시스템 구축,
첨단 자율 운송 시스템, 첨단 교통시스템 및
스마트시티, 스마트물류체계 구축 등.
주소: 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206 아주
대학교 성호관 243호.