

도시물류 시스템 운영 시나리오 검증을 위한 EFFBD(Enhanced Functional Flow Block Diagram) 기반 모델 개발

채우리¹, 황재민², 이재덕³, 장경호⁴, 김주욱^{5*}

^{1,2,3,5}한국철도기술연구원 미래교통물류연구소 첨단물류시스템연구실

⁴서울교통공사 신성장본부 신사업처

Development of EFFBD-based model for urban logistics system operation scenario verification

Uri Chae¹, Jaemin Hwang², Jaedeok Lee³, Kyungho Jang⁴, Joo-uk Kim^{5*}

^{1,2,3,5}Department of Advanced Logistics System Research,

Innovative Transportation and Logistics Research Center, Korea Railroad Research Institute

⁴New Business Department of Seoul Metro

The COVID-19 pandemic has instigated a global surge in logistics volume, thus precipitating a myriad of socio-economic issues worldwide. To address these ramifications, numerous nations have embarked on research initiatives exploring the viability of urban railway utilization. However, the conception of an integrative and tangible framework for a logistics transportation system leveraging underground spaces remains an elusive challenge. This research undertakes the development of a novel scenario for an urban logistics system that capitalizes on the underutilized urban rail infrastructure currently being developed in South Korea. The scenario development is executed through the application of an EFFBD based model, the effectiveness of which is subsequently validated via timeline analysis. Through this validation process, the successful establishment of initial subsystem standards was discerned, indicating potential applicability of the model in real-world contexts. By proposing the possibility of integrating underground spaces into logistics networks, this research provides a critical foundation for stimulating subsequent investigations in the field of underground logistics. The proposition of leveraging underground spaces for logistics purposes could potentially catalyze the sustainable evolution of the logistics industry, and be instrumental in shaping both academic and practical discourse on urban logistics systems.

Keywords: Underground Freight System, Operation Scenario, EFFBD, Timeline Analysis

논문접수일 : 2022.10.05. 논문수정일 : 2023.05.23. 게재확정일 : 2023.06.01.

이 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었음(RS-2021-KA163194)

1. 한국철도기술연구원 미래교통물류연구소 첨단물류시스템연구실 박사후연수연구원

2. 한국철도기술연구원 미래교통물류연구소 첨단물류시스템연구실 선임연구원

3. 한국철도기술연구원 미래교통물류연구소 첨단물류시스템연구실 학생연구원

4. 서울교통공사 신성장본부 신사업처 처장

5*. 한국철도기술연구원 미래교통물류연구소 첨단물류시스템연구실 책임연구원, Corresponding Author: jookim@krii.re.kr

1. 서론

1.1 국내외 택배 물류 시장 현황

전 세계적으로 택배 물량이 Figure 1과 같이 지속적으로 증가하고 있으며(Statista, 2022), 이 증가 추세는 COVID-19 팬데믹에 의해 더욱 가파르게 되었다(KILA, 2021). 또한 온라인 이커머스 시장의 확장(Lee, 2021)과 함께, 택배 화물량의 증가로 인해 발생하는 다양한 문제에 대한 해결책이 필요한 상황이 되었다(Kang and Lee, 2021; Kim and Hwang, 2021). EU(유럽연합)의 'EU Transport in Figures (2020)' 보고서에 따르면, 2013년부터 화물 운송량이 지속적으로 증가하고 있으며, 미국에서도 같은 기간 동안 연평균 1.5%의 증가 추세를 보였다. 일본에서는 2018년 기준으로 화물 운송량의 91.6%가 도로를 활용하고 있고, 중국에서는 2013년부터 화물 운송량의 연평균 증가율이 4.0%로 꾸준한 증가 추세를 보이고 있다(European Commission, 2020).

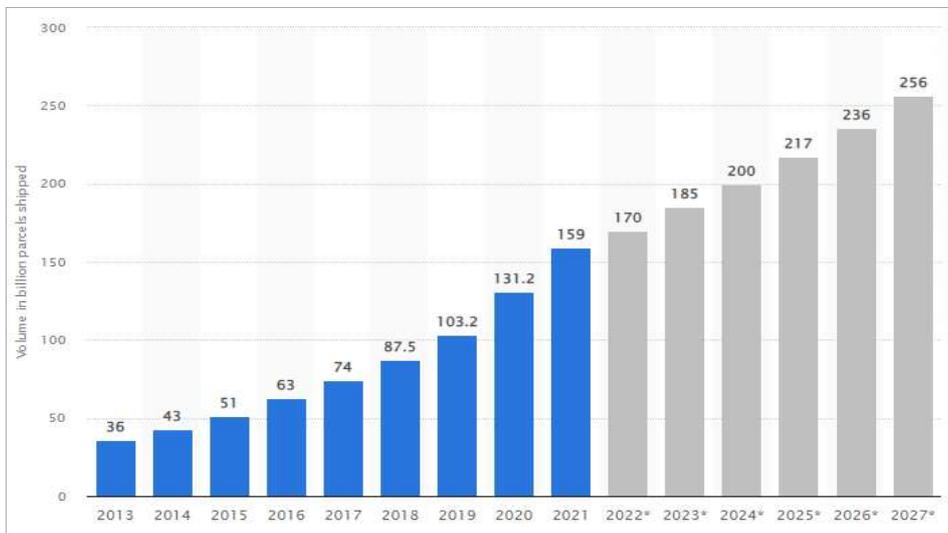


Figure 1. Global parcel shipping volume: Actual and forecast(Statista, 2023)

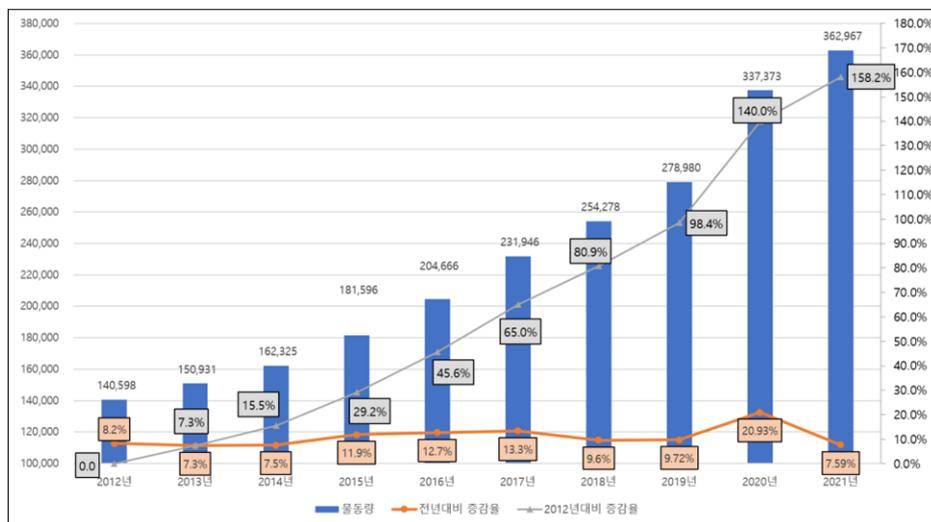


Figure 2. Korean market delivery volume

대한민국의 물류 산업은 2001년 59.4조에서 2018년 146.9조로 약 2.4배 증가하였으며, 온라인 쇼핑물의 시장규모는 같은 기간 3.3조에서 113.3조로 약 34배가 증가하였다(Economy Chosun, 2022). 또한 택배업은 같은 기간 시장규모가 약 8.8배(6천 5백억-> 5.7조), 물량이 약 12.4배 증가하였다(Cho and Yun, 2001; Son et al., 2021). 이는 특히 국내 물동량의 증가 추이를 보면 알 수 있는데, 코로나가 발생한 2019~2020년을 기준으로 20% 이상의 증가율을 보이며, 2021년에도 2020년 대비 7% 이상의 물동량 증가율을 보였다(Figure 2). 국내 화물 운송시장의 경우 지속적인 증가 추세를 보이는데, 그중 도로운송 분담률은 2016년 톤(ton) 기준 91.1%, 수송비 기준 92.6%로 수송수단 중 가장 높은 비율을 보였다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019). 하지만 화물의 소량/다빈도화 및 수도권외의 물류 집중에 따른 화물자동차 운행의 증가는 유류비 상승과 맞물려 2016년 기준 46.7조 원(GDP의 2.94% 수준)의 전국 교통혼잡비용을 발생시키고 있으며, 도로화물 운송이 철도화물 운송보다 대기오염, 온실가스, 소음 등의 방면에서도 더 큰 사회적 비용을 발생시켰다(Shim et al., 2005; Korea Transport Institute, 2019). 도심 내 화물자동차는 최근 미세먼지 발생의 주요 원인으로 지적되고 있으며(Han et al., 2021), 택배산업 성장과 함께 택배 차량 및 도로변 조업 차량의 증가는 교통 혼잡, 대기오염 및 소음, 교통사고, 도로파손 등 다양한 사회적 문제의 원인으로 인식되고 있다(Kim, 2021). 이에 따라 대한민국 정부에서는 물류 산업의 성장과 대기 환경 등의 사회적 문제를 개선하기 위한 다양한 정책 중 하나로 모빌리티 혁신 로드맵을 발표하였다. 해당 정책은 도시철도를 활용한 생활 물류 서비스 등 도시철도를 활용한 도시 물류 추진전략이 포함되어 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2022).

이러한 문제는 대한민국뿐만 아니라, 전 세계적으로 만연하다(Menasce, 2014). 도시 외곽 지역으로부터 도심으로 개별 화물 트럭에 의하여 화물 운송이 이루어지기 때문에 물동량 증가에 따라 트럭 운행이 증가하고, 교통 혼잡과 환경문제 등 사회적 비용이 함께 증가하는 고비용, 비효율 물류 시스템이다.

1.2 국내외 택배 물류 시장 현황

이러한 사회적/경제적 이슈를 해결하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있는데, 프랑스에서는 도로 교통 정체를 해결하기 위해 Tremfret 이라는 방안을 제시하였다. 여객 수송 tram 사이에 두 편의 tram을 투입하여 4주에 걸쳐 6회/주 테스트 하였고, 2017년 낡은 전차를 개조하여 6일간 17톤의 화물을 운반하는데 성공하였다(efficacity, 2016). 또한 프랑스의 소매 체인점인 Monoprix에서는 2012년 효율적인 공급망 확보와 교통체증을 줄이기 위해 철도를 활용하여 화물 운송수단으로 사용하려는 계획을 제시하여 전체 물품의 약 30%를 철도로 운반하였다. 역에 도착한 물품은 시내 가게까지 천연가스 트럭으로 이동하여 도심의 정체 현상을 부분적으로 완화해주고 온실가스 배출량을 감소시켰다(Delaitre and Barbeyrac, 2012). 독일에서는 2001년 폭스바겐社에서 차량의 부품을 도심 내로 들여오기 위해 물류 운행 효율성 및 개선을 고려하여 첫 번째와 마지막 칸은 약 7,500kg, 중간 3칸은 15,000kg까지 실을 수 있는 5량 1편성의 열차를 50km/h로 주행하였다(Amesh2009, 2016). 일본에서는 기존의 지하철 인프라와 차량을 개량하지 않고 이동형 캐리어를 사용하여 도심으로 배송되는 택배 화물 운송에 대한 시험을 2010년 총 2회에 걸쳐서 실시하였으며, 60kg 무게의 카트를 승객 칸에 싣고 이동하였다(Kikuta et al., 2012).

이 외에 새로운 지하 터널을 통해 화물을 운송하는 계획도 제시되고 있다. 미국의 TubeXpress는 지하 튜브 통로를 이용하여 컨테이너를 자동으로 운송하는 시스템으로 미국 연방고속도로 관리청에서 진행하고 있는 첨단 화물 운송에 관한 연구 프로젝트 중 하나이며, 국가교통시스템센터에 의해 기술 및 경제적 타당성에 대한 검토가 진행 중이다(Kwon and Jang, 2010; Lee et al., 2008). 이러한 튜브 화물 운송 시스템은 교통사고 등과 같은 도로 상황이나 날씨에 영향을 받지 않고 정해진 시간에 배달될 수 있다는 장점이 있다(Lee et al., 2008). 독일의 CargoCap은 도심 내의 교통 혼잡으로 인해 유발되는 막대한 사회비용을 절감하기 위해 수행되고 있는 연구로, 직경 2.0m의 지하 파이프라인 관로를 이용하여 24시간 무인 자동으로 화물을 수송하는 지하 수송망 건설에 관한 연구이다(Kwon et al., 2008).

그러나, 현재까지는 트랩을 활용한 외부 철로를 이용하거나 특정 업체에서 당사의 물류를 이송하기 위한

연구, 혹은 사람이 직접 캐리어를 끌어 열차로 운송하는 등의 활용 사례이거나, 기존의 도시철도를 이용하는 것이 아닌, 새로운 지하 수송망 건설을 목표로 두기 때문에 실제 사회적/경제적 비용 절감을 위해서는 기존의 인프라를 활용하여 연구개발의 인력 및 비용 절감 방법을 고안할 필요가 있다. 이러한 비효율을 개선하고자 전 세계적으로 연구가 이루어지고 있는 만큼, 다양한 시스템을 제시하고, 그에 대한 운영 시나리오를 제공하여 국가적인 혼잡비용 및 사회적 비용을 차지하고 있는 도로 위주의 물류 시스템을 보다 친환경적인 철도시설 등을 활용한 물류 시스템으로 변화시켜야 할 필요가 있다.

1.3 도시철도 물류 운송 시나리오

본 논문에서 제안하는 운영 시나리오는 대한민국 서울 도심 내 건설되어있는 지하수송 인프라인 도시철도 시설을 활용하여 화물을 운송하기 위한 도시 물류 시스템을 대상으로 고안한 것으로, 도심 물류 증가 및 물류 기술의 고도화, 유통채널의 다양화 등 변화하는 물류 산업에서 기존 도시 내에 존재하는 도시철도 시설을 활용하여 초기 투자비용을 최소화하는 도심 물류 시스템이다.

도심에서 화물을 운송하기 위해서는 열차, 운송, 관제, 운영, 공간 등 다양한 시스템의 지원이 필요하며, 시스템의 명확한 기능과 이들 간의 복잡한 관계를 정의하여야 한다. 또한 시스템이 어떤 기능이 필요하고, 어떻게 수행하는지 다양한 방법으로 검증되어야 한다.

국내에서도 복잡한 시스템을 개발하는 경우, 개념단계에서 시스템 범위 및 개념을 정의하고, 운영 시나리오를 적용하는 사례가 많아졌으며(Yoon et al., 2011), 여러 가지 운영 시나리오를 통해 설계단계에서 발생할 문제를 사전에 해결하고자 노력하고 있다(Oh et al., 2013). 이러한 노력은 시스템 설계 및 운영 시 발생하는 위험 및 비용을 줄이는 방법의 하나로 활용되고 있다(Lee et al., 2015).

운영 시나리오는 개념단계에서 작성되는데, 다양한 시나리오를 분석할수록 시스템의 구조와 기능이 명확해지고, 도출되는 명확한 요구사항을 통해 성공적인 시스템 개발에 영향을 줄 수 있다. 요구사항은 시스템 개발 시 중요한 성과물 중의 하나로, 현재까지도 요구사항 도출 시 기존 자료를 활용하거나 개인의 경험 또는 직관적으로 요구사항을 도출하는 경우가 많다.

도심에 화물을 운송하기 위해 개념단계에서 시나리오가 제대로 분석되지 않은 채 요구사항이 도출되면 시스템 성공을 위한 올바른 방법을 적용하지 않으므로, 기존의 위험과 문제를 그대로 감수하며 시스템을 개발해야 할 수도 있다(Kim and Kim, 2016). 본 논문에서 구상하는 시나리오는 철송이 가능한지 시나리오를 작성하여 모델을 개발하고, 시간선 분석을 통해 비침투 시간에 화물열차에서 화물이 하차할 수 있는지 검증하기 위한 연구로, 물류 터미널과 라스트마일에서의 상/차에 대한 내용은 이미 구축되어 있다는 가정하에 진행되었다. 따라서 본 논문에서는 도심에 화물을 운송하기 위해 개발한 운영 시나리오를 기반으로 검증을 위한 모델을 구축하고, 시뮬레이션을 통해 운영 시나리오를 검증하고자 한다.

2. 본론

시나리오 모델링은 시스템 구축을 위한 전체 시스템을 세부 운영 시나리오로 구분하여 모델링을 통해 제시하였다(Figure 3). 본 논문에서 활용한 시나리오는 현재 개발 진행 중인 프로젝트의 전문가 의견을 바탕으로 작성되었으며, 이를 기반으로 각 주체별 정보 송·수신 및 행위에 대한 내용을 분석하여 모델을 개발하였다. 본 시나리오는 기존에 구축된 역사에서 기존에 운행되고 있는 열차 사이에 화물열차의 스케줄을 추가하여 화물의 상/하차 시간을 고려하여 화물열차의 추가적인 운행이 가능한지 검증하기 위해 개발되었다. 또한 화물열차를 포함하여, 화물을 실은 수평이송장치가 이동하는 모든 경로에는 수평이송장치가 인식할 수 있는 QR(Quick Response) 코드가 일정 간격으로 심어져 있으며 이를 인식하여 이동하는 것을 바탕으로 시나리오가 작성되었다.

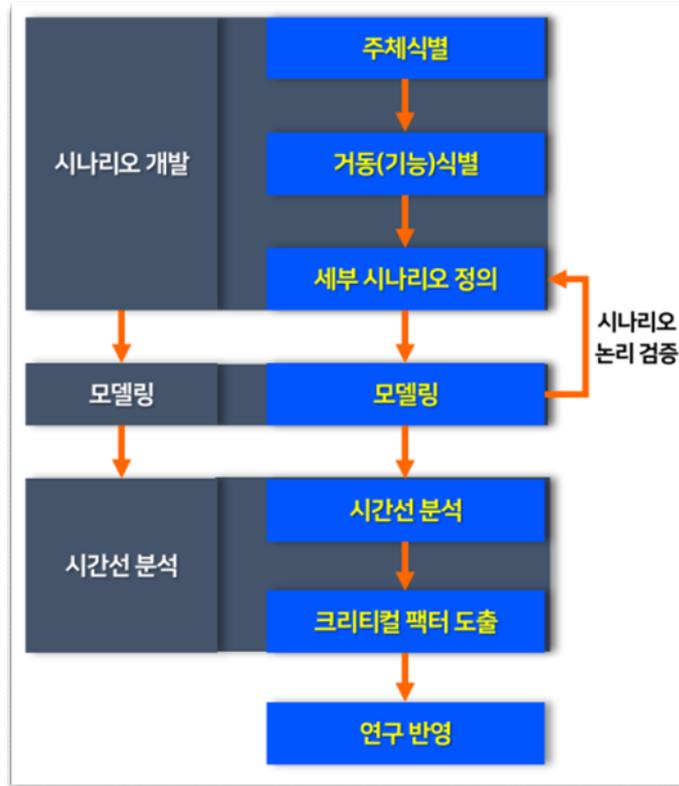


Figure 3. Research methodology diagram

2.1 운영 시나리오

시나리오는 크게 2가지 목적으로 나뉜다. 첫째, 화물운송 운영 시나리오, 둘째, 회수운송 운영 시나리오다. 화물운송 운영 시나리오는 택배 화물을 원하는 목적지로 배송하는 과정이며, 회수운송 운영 시나리오는 물건 반품 등의 사유로 다시 돌려보내거나, 물건을 배송시킬 때 사용한 화물운송 표준용기 및 수평이송 장치가 되돌아오는 과정을 말한다. 각 목적에 따른 시나리오는 주체가 이동하는 곳에 따라 공간으로 구분 지었다(Table 1).

Table 1. Delimiting spaces within a scenario

구분	공간
화물운송 운영시나리오	차량기지 물류 공간(차량기지 승강장 포함)
	화물열차
	화물역사 더미 플랫폼(화물역사 승강장)
	화물역사 물류 공간
회수운송 운영시나리오	화물역사 물류 공간
	화물역사 더미 플랫폼(승강장)
	화물열차
	화물열차 차량기지 물류 공간(차량기지 승강장 포함)

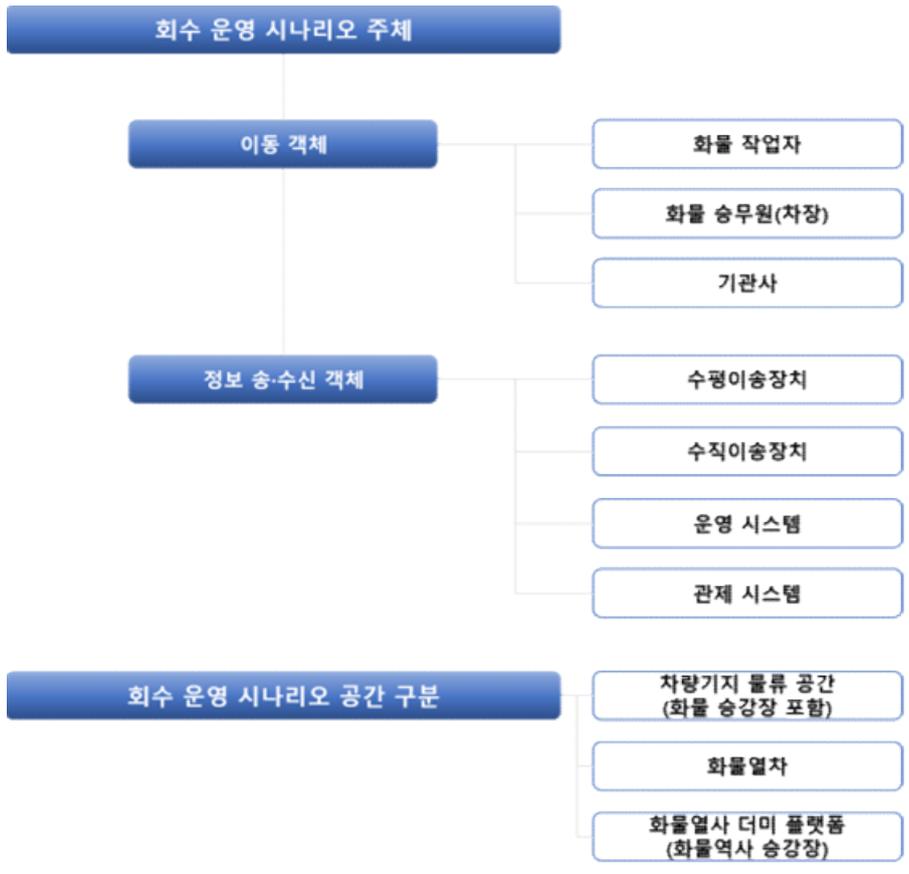


Figure 4. Criteria for scenario classification

주체는 크게 6개로 나뉘며, 각각 화물작업자, 화물승무원(차장), 기관사, 수평이송장치(AGV, Automated Guided Vehicle), 수직이송장치, 정보 송·수신 시스템으로 나뉜다. 정보 송·수신 시스템은 운영 시스템과 관제 시스템으로 나뉜다. 관제 시스템은 수평이송장치와 수직이송장치를 제어하는 시스템이며, 운영 시스템은 운송장 관리 및 도시철도 물류 공동운영 플랫폼이다(Figure 4).

구분	세부구분	번호	주체					
			시스템(사용자)		정보 송·수신 시스템		화물 승무원(차장) (태블릿 포함)	기관사
			화물 작업자 (태블릿, 모바일 디바이스 포함)	수평이송장치	수직이송장치	운영 시스템 (모바일 디바이스)		
회수 운영 시나리오	화물역사 터미 플랫폼 (화물역사 승강장)	101		특정 수평이송장치는 화물열차에서 하차 후 인식되는 첫 번째 QR 정보를 확인하여 관제 시스템에 송신한다.				
		102					수평이송장치로부터 첫 번째 QR 정보를 수신한다.	
		103					첫 번째 QR 정보로 위치한 수평이송장치의 목적지 메시지를 확인한다.	
		104					운영 시스템으로 수평이송장치가 화물열차에서 하차했다는 정보를 수신한다.	
		105				관제 시스템으로부터 수평이송장치 하차 목적지 위치 정보를 수신한다.		
		106						
		107						
		108						
		109						
		110						
		111						
			시스템 기능 및 아이템(정보, 신호)					
시나리오 및 공간								
114								

Figure 5. Part of the operation scenario

화물운송 운영 시나리오는 택배 화물이 '차량기지 물류공간(차량기지 승강장 포함)'에 놓인 상태에서 시작된다. '차량기지 물류공간'의 경우 차량기지 승강장과 같은 공간에 위치하고 있기 때문에 같은 공간으로

정의하였다. 이어 도착화물역사별로 정리된 화물은 화물작업자에 의해 표준용기에 담겨 수평이송장치와 체결 후 열차 탑승위치(대기위치; 차량기지 승강장)로 이동한다. 화물열차가 정차하면 표준용기와 체결된 수평이송장치가 관제 시스템에 의해 라우팅 된 순서대로 열차 내부로 이동한다. 수평이송장치 탑승이 완료 되면 화물열차는 화물역사 승강장으로 이동한다. 수평이송장치는 순서대로 화물열차에서 하차하여 수직이송장치에 탑승하여 화물역사 물류공간으로 이동한다. 여기서 수직이송장치는 공간으로 분류하지 않았는데, 수직이송장치는 본 시스템 내에서 개발된 독자적인 시스템(관제 시스템)에 의해 신호를 송·수신하며 작동하기 때문이다(Table 2).

Table 2. A representative scenario of urban logistics technology development using underground space(Summary)

운영시나리오	
1	화물입고
1-1	목적지별로 분류된 화물이 도시철도 차량기지 물류 공간으로 입고
2	화물상차
2-1	차량기지 화물작업자가 차량기지 내 물류공간에서 목적지 별 화물의 스캔 작업 후 화물운송 표준용기에 옮겨 담는 작업 수행
2-2	화물이 담긴 화물운송 표준용기는 화물작업자에 의해 호출된 수평이송장치와 체결되며, 화물작업자가 화물운송 용기의 목적지 역정보를 단말을 통해 입력
2-3	지정된 개별 화물열차에 화물운송 표준용기와 체결된 수평이송장치가 탑승 후 열차 내부에 결박됨
3	화물운송
3-1	수평이송장치가 상차된 화물열차가 목적지 역으로 출발
4	화물하차
4-1	목적지 역에 도착한 개별 화물열차는 화물운송 표준용기와 체결된 수평이송장치의 결박을 해제하며, 역사공간(역사 내 물류 플랫폼)으로 수평이송장치의 하차를 시작
4-2	화물운송 표준용기와 체결된 수평이송장치는 개별 화물열차에서 하차한 후 층간 이송을 위해 수직이송장치에 탑승
4-3	층간 이송을 위해 수직이송장치와 수평이송장치가 체결됨
5	역사적치
5-1	화물운송 표준용기와 체결된 수평이송장치는 수직이송장치를 통해 역사 물류 공간으로 층간 이송
5-2	물류공간 도착 후 수평이송장치의 결박이 해제되며, 수직이송장치에서 하차
5-3	화물운송 표준용기는 수평이송장치를 통해 역사 물류 공간의 지정된 위치로 이송되며, 수평이송장치와 체결 해제 후 적치
6	화물출고
6-1	적치된 화물운송 표준용기의 화물은 단말 배송 작업자에 의해 스캔 후 배송을 위해 단말 배송 이동체에 상차되어 출고

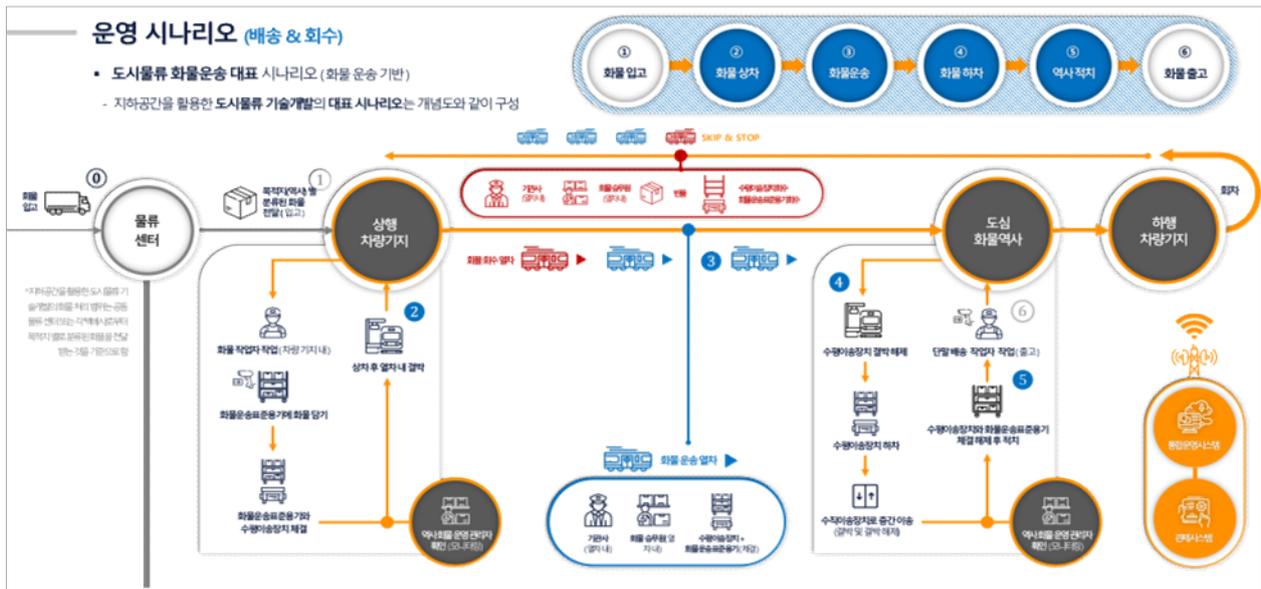


Figure 6. Urban logistics system operation concept using underground space

Figure 6의 개념을 대상으로 개발되고 있는 각각의 하위 시스템(시나리오 내 각 주체)의 정량적 목표를 설정하고, 역할에 대한 정의를 하였다. 또한 해당 시스템을 위해 대한민국의 열차 편성 시간을 분석한 결과에 따라 화물운송을 위한 화물열차의 정차시간은 5분으로 제한을 두고 있으므로 화물의 화물열차 상·하차에 대한 시간을 구분하여 작성하였다. 시나리오 모델링 검증은 해당 시간을 기준으로 시간 분석 시뮬레이션을 수행하여 검증하였다.

2.2 시나리오 분석

시나리오 모델링을 위해 시나리오의 시스템 운영 개념과 범위, 도시물류 화물운송을 대표하는 운영 시나리오(배송/회수)가 작성되어 운영 시나리오 분석을 하였다. 도시물류시스템 운영 개념에는 배송과 회수의 개념이 포함되어 있다.

운영 시나리오에서는 기능을 분리하여 상세한 활동을 식별하고, 주체 및 객체를 통해 시스템 및 시스템 간 인터페이스를 식별하였다. 또한 화물 적재, 수평이송장치/표준용기 체결, 수평이송장치 그룹화, 수평이송장치 상차, 표준용기 결박(열차 내), 화물수송 모니터링, 수평이송장치 하차, 수직이송장치 탑승, 수직이송장치 작동, 수평이송장치/표준용기 체결 해제, 화물 하역은 운영 시나리오 모델링을 위한 기준 자료가 되었다.

Figure 7은 도시물류 기술개발 시 필요한 관련 시스템의 범위를 나타낸 것으로, 대부분의 시스템은 운영 시나리오에서도 화물운송을 위한 시스템으로 식별되어 운영 모델링 작성 시 시스템으로 반영하였다.



Figure 7. Urban logistics technology development scope

2.3 시나리오 모델링

기능 모델은 시스템의 기능을 모델로 구현하는 것으로, 기능 또는 기능의 흐름을 표현한다. 또한 기능 간 아이템(정보)을 통해 흐름(절차 또는 단계)을 제어하기도 한다. 기능 모델을 작성하면 시스템의 기능 식별이 용이하고, 기능의 흐름(절차)에 따라 시스템 간 전달되는 아이템(정보)을 확인할 수 있다. 운영 시나리오 모델링을 위해 지하공간 도시물류시스템 전반적인 시나리오 분석 내용을 바탕으로 모델링을 하였다.

도시물류 화물운송 기능은 화물 적재, 수평이송장치/표준용기 체결, 수평이송장치 그룹화, 수평이송장치 상차, 표준용기 결박(열차 내), 화물수송 모니터링, 수평이송장치 하차, 수직이송장치 탑승, 수직이송장치 작동, 수평이송장치/표준용기 체결 해제, 화물 하역으로 세부 구성되며, 화물이 입고되어 운송 후 출고 및 회수까지의 시나리오다. 화물이 어떻게 입고되고, 출고되는지 절차 및 방법을 정의한 최상위 기능으로 상세 시나리오는 각 모델에서 확인할 수 있도록 모델링 하였다. 모델링은 Enhanced Function Flow Block Diagram(EFFBD)로 수행하였으며, 본 논문에서는 회수 시나리오를 제외한 운송 시나리오를 바탕으로 모델링 후, 시간 분석을 위한 알고리즘을 제시하고자 한다.

3. 결과

3.1 화물운송 시나리오 모델링

화물운송 시나리오를 모델링하기 위해 아래 Table 3과 같이 세부 시나리오를 구성하여 세부 시나리오를 기반으로 모델링을 진행하였다.

Table 3. Subdivision of the operation scenario

<ol style="list-style-type: none"> 1. 화물적재 시나리오 2. 수평이송장치/화물운송 표준용기 체결 시나리오 3. 수평이송장치 그룹화 시나리오 4. 수평이송장치 상차 시나리오 5. 화물운송 표준용기 결박 시나리오 6. 화물수송 모니터링 시나리오 7. 수평이송장치 하차 시나리오 8. 수직이송장치 탑승 시나리오

9. 수직이송장치 작동 시나리오
10. 수평이송장치/화물운송 표준용기 체결 해제 시나리오
11. 화물하역 시나리오

1. 화물적재 시나리오
2. 수평이송장치/화물운송 표준용기 체결 시나리오
3. 수평이송장치 그룹화 시나리오
4. 수직이송장치 탑승 시나리오
5. 수직이송장치 작동 시나리오
6. 수평이송장치 상차 시나리오
7. 화물운송 표준용기 결박 시나리오
8. 화물수송 모니터링 시나리오
9. 수평이송장치 하차 시나리오
10. 수평이송장치/화물운송 표준용기 체결 해제 시나리오
11. 화물하역 시나리오

세부 시나리오 중 3.2에서 나올 시간선 분석을 통하여 일부 트래픽이 예상되는 부분을 아래와 같이 제시하였다.

1) 수평이송장치 하차

수평이송장치의 하차는 목적지 화물역사의 도착 후, 해당 역에서 하차해야 할 AGV들이 하차하며 첫 번째 인식하는 QR 정보를 통해 목적지 역을 확인하는 시나리오이다.

하부는 9개 기능이며, 화물열차 문 열림, 안전건넌판 작동, 결박장치 해제, 수평이송장치 하차, 수직이송장치 탑승 QR 위치 경로 생성, 수직이송장치 탑승 QR 위치 수신 및 하차 후 첫 번째 인식하는 QR 정보 확인, 수평이송장치의 하차 완료 확인하는 기능으로 구성되었다. 왼쪽의 '화물작업자', '수평이송장치' 등은 기존 시나리오의 상단에 있는 주체들을 표기한 것으로, 해당 객체가 어떤 행위가 있을 때 파란색 박스로 행위가 표시된다. 또한 화살표를 통해 신호의 송·수신 방향을 알 수 있으며, 어떤 정보를 주고받는지에 대한 내용이 회색 상자로 표기되어있다.

예를 들어, 화물승무원이 화물열차의 문 열림 버튼을 누르면, 화물열차의 문이 열리며 안전건넌판이 작동되고, 표준용기를 고정하던 열차 내 결박장치가 해제된다. 화물승무원은 일련의 과정을 육안으로 확인하고, 해당 역사에서 하차해야 할 수평이송장치에 하차 명령을 내리게 된다. 해당 명령은 관제 시스템을 통해 수평이송장치로 전달이 된다. 이때 관제 시스템은 수평이송장치가 이동해야 할 QR의 위치 정보도 같이 송신한다. 수평이송장치는 QR 위치 정보를 받아 화물열차에서 하차하며, 하차하는 즉시 확인되는 첫 번째 QR 코드를 관제 시스템으로 송신하고, 관제 시스템에서는 통해 수평이송장치가 해당 역에서 맞게 내린 것인지 확인한다. 이후, 수평이송장치가 목적지 QR에 도착하면 도착 신호를 관제 시스템으로 송신하고, 관제 시스템은 수평이송장치의 도착 신호를 운영 시스템으로 송신하게 된다.

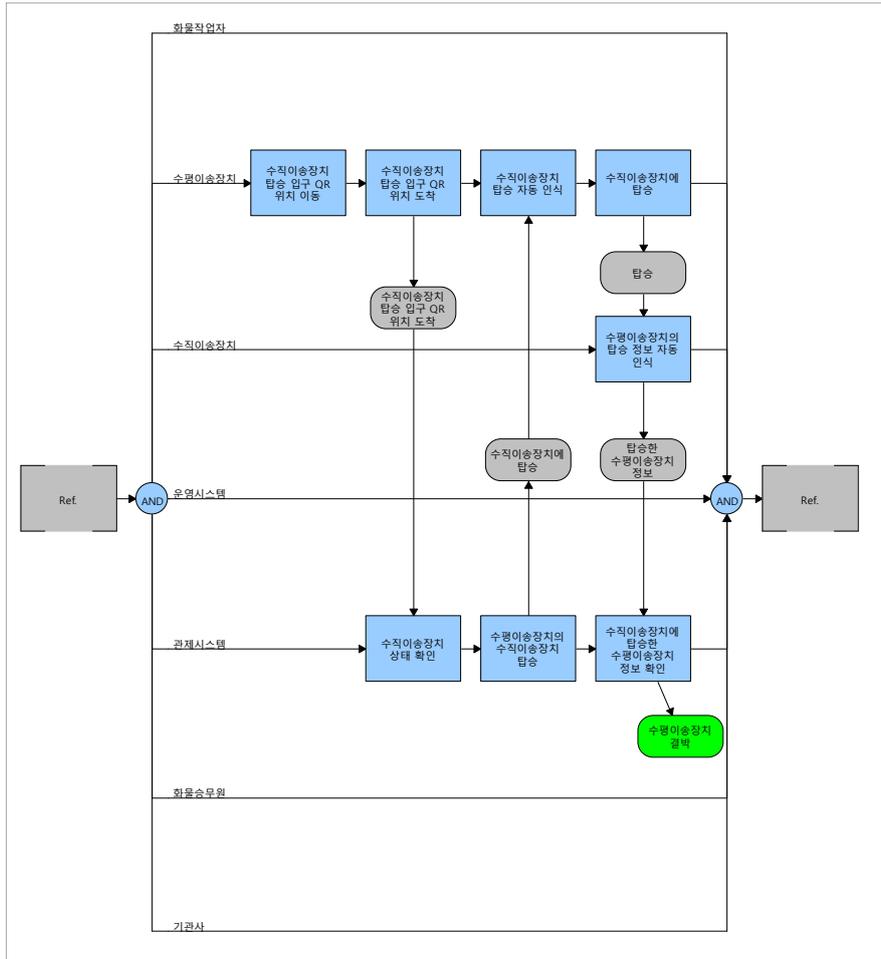


Figure 10. Freight transport_Boarding VTS

3) 수평/수직이송장치 결박

수평이송장치와 수직이송장치의 결박은 수직이송장치가 이동하는 동안 수평이송장치와 체결된 표준용기가 기울어지는 등의 비정상 상황을 대비하기 위하여 수직이송장치 내부에서 표준용기를 고정해주는 시나리오다.

하부는 1개 기능이며, 수평이송장치가 수직이송장치에 탑승하면 관제 시스템에서 수직이송장치에 수평이송장치 결박 명령을 내리는 기능으로 구성되었다.

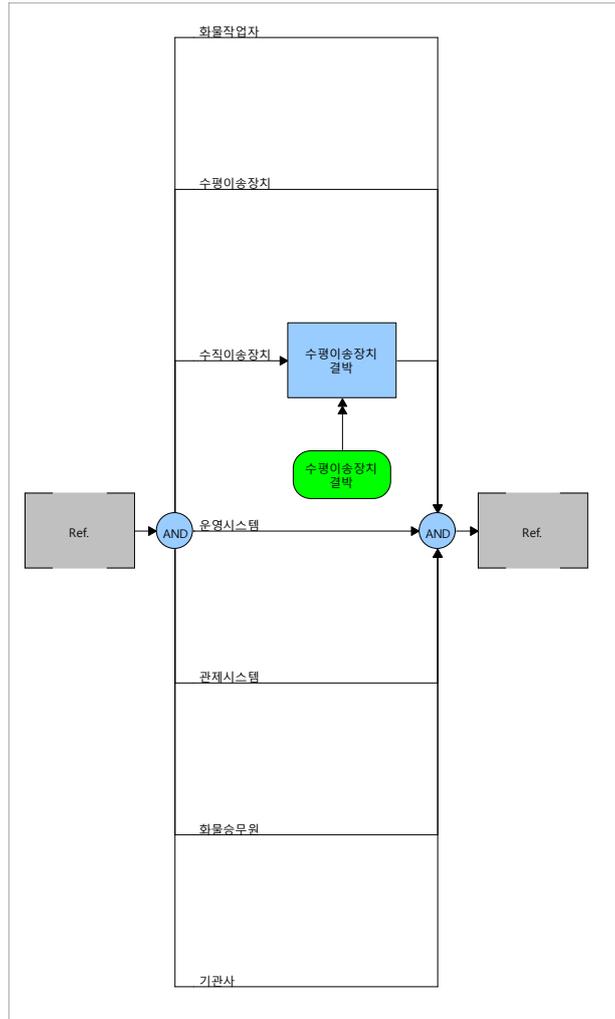


Figure 11. Freight transport_Restraint AGV/VTS

3.2 시간선 분석

본 시나리오는 실제 지하철이 운행되는 운영시간 중 비첨두 시간에 화물열차를 도입하는 것으로 계획하고 있으므로 화물역사에서 화물열차가 정차해야 하는 시간을 도출할 필요가 있다. 따라서 세부 시나리오에서 실제 화물열차가 화물역사에 정차하는 내용을 추출하고, 각 행위에 대한 시간을 각 객체의 시스템 스펙(System Spec)을 반영하여 아래 Table 4와 같이 도출하였다.

Table 4. Time line for freight train stop

Step	Time line(n≤21)	Operation Time[sec.]	Accumulated time[sec.] (for 1 AGV)	Calculation time[sec.] (for n ≤ 21)
1	화물열차가 화물역사 승강장에 정위치 시키는 시간	2	2	2
2	화물 승무원(차장)이 문 열림 버튼을 누르는 시간	3	5	3
3	화물열차 출입문이 열리는 시간	3	8	3

	4	화물열차 안전건넌판이 작동하는 시간	3	11	3
	5	화물열차 결박장치가 해제되는 시간	5	16	5
	6	화물 승무원(차장)이 안전건넌판의 작동 여부를 확인하는 시간	2	18	2
	7	화물 승무원(차장)이 태블릿을 사용하여 배송역사(도착지역) 선택 후, 수평이송장치의 하차 명령을 내리는 시간	5	23	5
t1	8	n번째 수평이송장치가 화물열차 내에서 하차하기 위한 입구까지의 이동 시간	2	25	2
t2	9	n번째 수평이송장치가 안전건넌판을 지나가는 시간	5	30	5
t3	10	n번째 수평이송장치가 수직이송장치의 입구까지 도착하는 시간	5	35	5
t4	11	n번째 수직이송장치의 결박장치가 해제되는 시간	2	37	40
t5	12	n번째 수평이송장치가 수직이송장치에 탑승하는 시간	7	44	140
t6	13	n번째 수평이송장치와 수직이송장치가 결박되는 시간	2	46	40
t7	14	n+1번째 수직이송장치가 n+1번째 수평이송장치를 탑승할 수 있게끔 준비하는 시간(수직이송장치가 한 층 올라가는 시간)	3	49	60
	15	화물 승무원(차장)이 문 닫힘 버튼을 누르는 시간	3	52	3
	16	화물열차 결박장치가 작동하는 시간	5	57	5
	17	화물열차 안전건넌판이 회수되는 시간	3	60	3
	18	화물열차 출입문이 닫히는 시간(단, n+21번째 수평이송장치가 화물열차를 하차한 후 수행)	2.5	62.5	3

화물열차 정차시간 동안 수평이송장치가 여러 차례 하차하는 반복 구간을 t1~t7로 표기하였다. 위 구간에서 각 step 별로 걸리는 시간은 Figure 12와 같다.

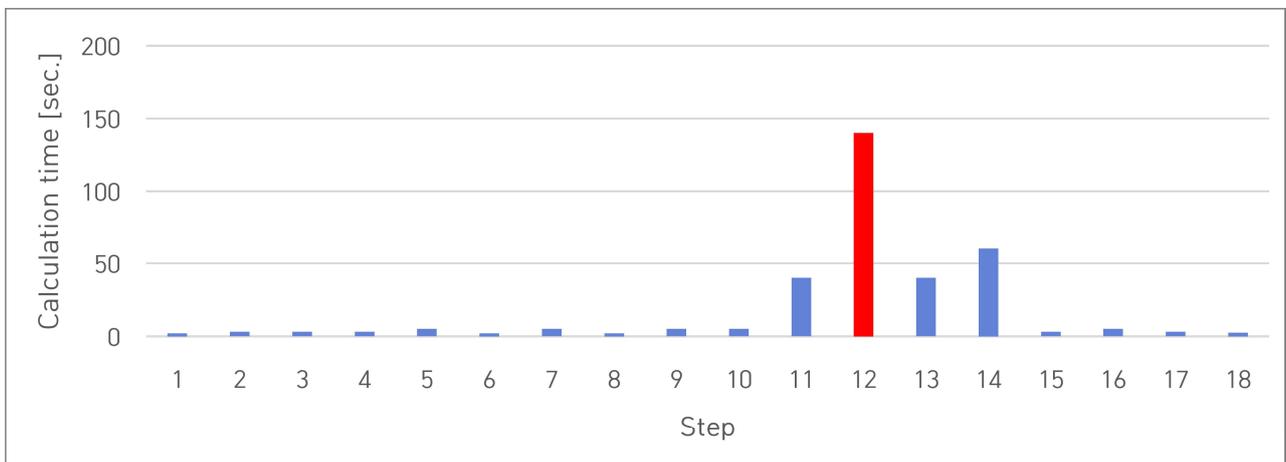


Figure 12. Calculation time[sec.] by step

위 Figure 12를 확인하면, step 12, 'n번째 수평이송장치가 수직이송장치에 탑승하는 시간'에서 가장 많은 시간이 소요되는 것을 확인할 수 있다. 이를 개선하기 위해서는 수평이송장치가 수직이송장치에 탑승하는 시나리오, 즉, 수평이송장치의 이동 속도 및 속도 상승과 비례한 안전성의 개선이 필요할 것으로 판단된다. 아래 수식(1)은 실제 화물열차가 정차하는 시간을 도출하였다.

$$(t_{1,1} + t_{1,2} + t_{1,3} + t_{1,4} + t_{1,5} + t_{1,6} + t_{1,7}) + \sum_{n=2}^{21} (t_{n,4} + t_{n,5} + t_{n,6} + t_{n,7}) + n \leq 364[\text{sec.}] \quad (1)$$

수식(1)을 통해 현재 개발된 하위객체(수평이송장치, 수직이송장치, 화물열차 등)의 시스템 스펙을 대상으로 도출된 시간을 입력하여 총 정차시간이 364초 걸리는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서 제시한 시나리오는 최종 개발된 시스템을 대상으로 한 것이 아닌, 목표 시나리오를 목적으로 개발된 시나리오를 기반으로 모델링 하였다. 본 시나리오는 화물열차 정차시간 5분(300sec)을 목표로 하고 있으며 이를 위해 시나리오 모델링을 기반으로 테스트베드 실증평가를 하기 위해서는 실제 열차가 정차하는 시간을 파악할 필요가 있다. 화물열차가 화물 취급 역에서 최대 정차할 수 있는 시간은 앞서 언급한 바와 같이 5분이다. 운행 시격은 총 8분으로 앞 전 열차와 거리 1.5분 + 뒤 열차와의 거리 1.5분 + 화물 정차 5분으로 최소시격을 계산하고 있다(Oh et al., 2021). 안전한 운영을 위해서는 최대 운행시격이 10분이 되어야 하지만, 초기 시나리오 및 모델링을 기반으로 시작품 시스템 스펙을 적용하였을 때 6분 4초(364sec)가 나온 것은 성공적으로 개발이 되어가고 있다고 판단할 수 있다.

Table 5. Deriving improvements based on system specifications

	해결 주체	내용	난이도	비용
수평이송장치 속도	이송장치 제작사	수평이송장치의 현재 속도 (1.2m/s)를 올려 step 12 및 전후의 수평이송장치 이동으로 인한 시간 감소	A1	A2
수직이송장치 바닥재		수직이송장치의 바닥재가 회전하는 기능을 갖기 때문에 여러 개의 철판이 레일 형식으로 깔려 있으므로, 이를 평편하게 만들어 수평이송장치의 탑승 시간 감소	B1	B2
더미공간 확대	공간개발팀	화물열차에서 내린 수평이송장치들이 수직이송장치에 탑승하기 위해 대기하는 공간을 넓혀 시간에 구애받지 않도록 함	C1	C2
출입문 확대	차량개발 제작사	표준용기를 실은 화물열차의 출입구를 확장 또는 여러 개 만들어, 한 번에 하차시킬 수 있는 수평이송장치의 대수를 늘림	D1	D2

본 논문에서는 현재 개발 중인 지하공간 도시물류시스템을 기반으로 시나리오를 작성하고, 이를 모델링하였다. Table 5에는 Figure 12를 기반으로 가장 시간이 오래 소요되는 구간인 step 12에 해당하는 기능 및 개선해야 하는 내용에 대해 정리하였다. 이를 통해 개선되어야 할 구간에 대한 하위 객체(수평이송장치 이동 속도 등)를 판별할 수 있었다.

따라서 차후 연구에서는 Table 5를 활용하여 AHP(Analytic Hierarchy Process) 방법론(계층화 분석법)을 적용하여 각 해결 주체에 대한 난이도 및 비용을 도출하고, 수식(1)에 개선된 시스템 스펙을 대입하여 예상 정차시간을 도출할 수 있는 수식으로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

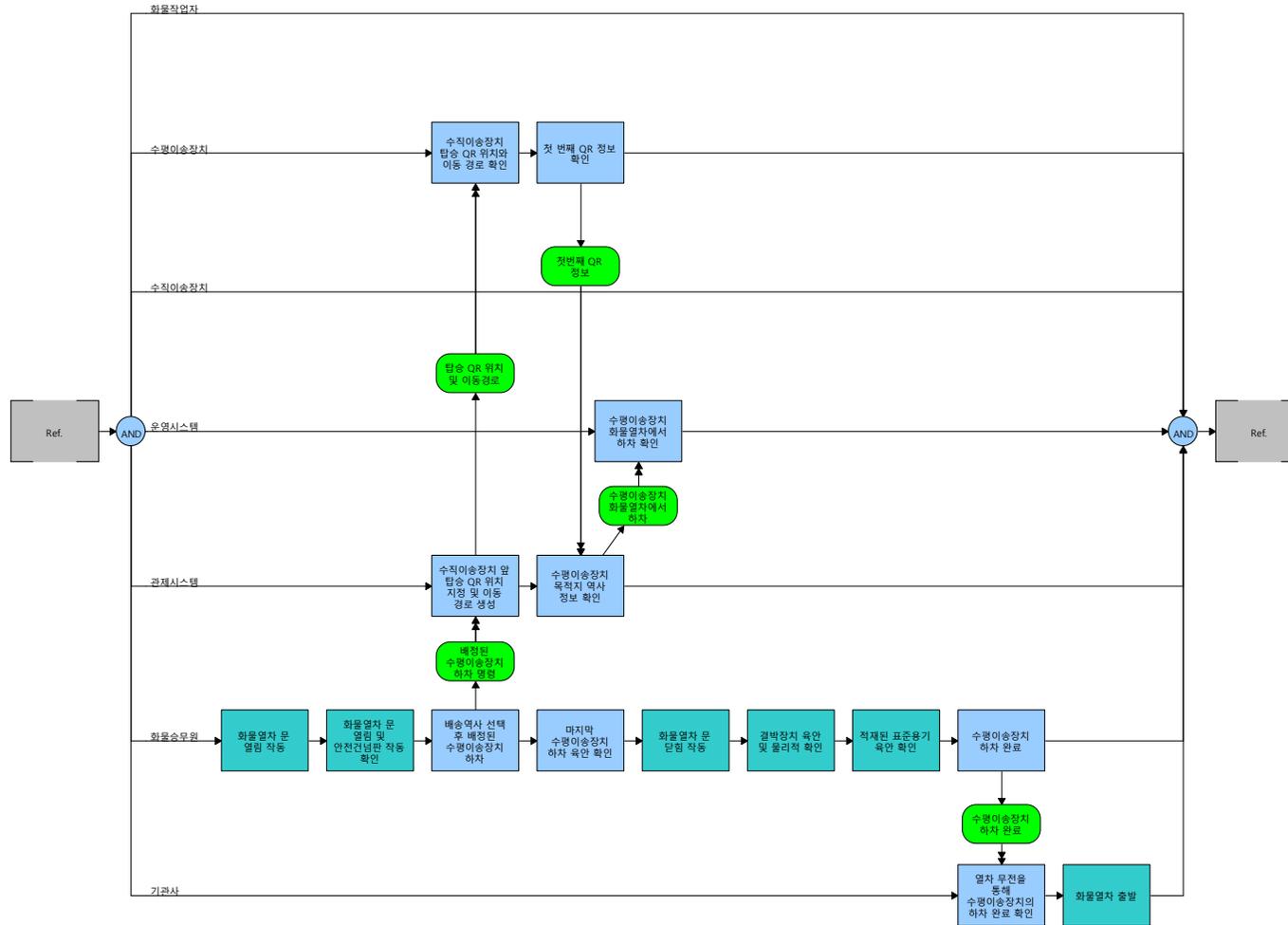
참고문헌

- Amesh2009 (2016), Volkswagen CarGo Tram, <https://www.youtube.com/watch?v=STZJuX4FL4w>, accessed on 2022.10.04.
- Cho, Y. S. and Yun M. K. (2001), Analysis of Korean parcel delivery market, *Korea Technology Innovation Society*, 2001, 245-270.
- Delaitre, L., (2012), Improving an urban distribution centre, the French case of Samada Monoprix, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2012(39), 753-769, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.145>
- Efficacy (2016), Testing TramFret on the Saint-Etienne tram network, efficacy, <https://efficacy.com/wp-content/uploads/2018/01/18-EN.pdf>, accessed on 2022.10.04.
- European Commission, (2020), EU transport in figures: statistical pocketbook 2020, Publication of the European Union, <https://data.europa.eu/doi/10.2832/491038>, accessed on 2022.10.04.
- Han, J-S., Lee, S-M., Jeong, Y-M., Park, M-C. and Kim, S-H., (2021), Research on the Reduction of PM and GHG from Ground Freight Transportation, Korea Environment Institute, 24(1).
- Kang, C-R. and Lee, T-H., (2021), Study on the Green Packaging According to the Increase of Non-Contact Transaction: Focusing on Coupang and other distributors, *The Korean Society of Management Consulting*, 21(3), 407-418.
- Kikuta, J., Ito, T., Tomiyama, I., Yamamoto, S. and Yamada, T., (2012), New Subway-Integrated City Logistics System, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2012(39), 476-489. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.123>.
- KILA (2021), National Logistics Information Center, <https://koila.or.kr/>, accessed on 2022.09.27.
- Kim A-R., (2021), The dilemma of the delivery industry, Maeil, <https://www.m-i.kr/news/articleView.html?idxno=842960>, accessed on 2022.09.28.
- Kim, E. Y. (2022), Online shopping that has finished high growth, KTNEWS, <https://www.ktnews.com/news/articleView.html?idxno=121742>, accessed on 2022.10.04.
- Kim, E-J. and Kim, H-S., (2016), A study on the risk analysis method on the transport system, *Journal of Korean Navigation and Port Research*, 40(3), 147-157.
- Kim, J-H. and Hwang, M-Y., (2021), Parcel driver working environment problems and improvement plans, The Seoul Institute, 2021.03.08.
- Korea Transport Institute, (2021), 43 trillion won in social costs due to road traffic accidents... 2.3% of GDP, <https://www.mk.co.kr/news/economy/view/2021/04/334377/>, accessed on 2022.09.27.
- Kwon, H-B. and Jang, S-Y., (2010), State-of-the-Art and Prospects on Tube Transportation Technology for Development of Environment-Friendly Future Transportation system, *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 23(3), 87-96.
- Kwon, H-B., Park, J-S., Nam, S-W. and Choi, S-K., (2008) Current status and prospect of tube transportation technology, *The Korean Society for Railway*, 11(3), 57-71.
- Lee, J. S., (2021), E-commerce market expected to reach 220 trillion won in 4 years, KTNEWS.

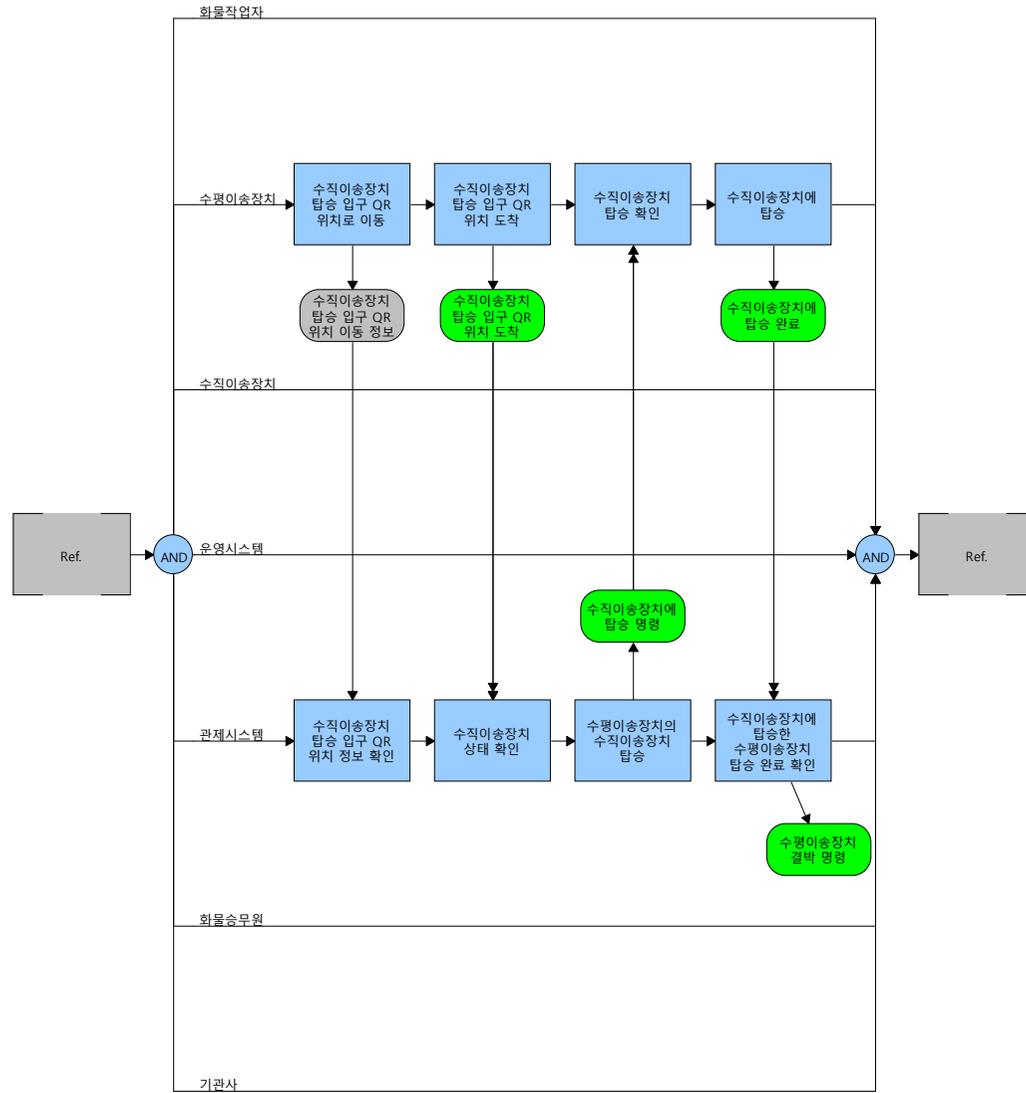
- Lee, J-S., Lim K-S., Nam, D-H., Kwon, H-B. and Kim, J-Y., (2008) Economic Feasibility and Technical Requirements for Tube Transportation System, *Journal of the Korean Society for Railway*, 11(5), 513-518.
- Lee, N-H., Kim, J-C., Lee, S-J., Park, K-H., Pyeon S-H. and Kim, Y-J., (2015) Operating scenario study by tram accident type, *The Korean Society for Railway*, 2015(5), 1268-1273.
- Menasce, D. (2014), Economic and social issues around Last Mile Delivery, *The journal of field actions*, Special issue 12
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, (2019), https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1245, accessed on 2022.09.27.
- Oh, S-C., Lee, K-M., Chae, E-K. and Kim, M-S., (2013), Operation scenario and functional requirements for an automated train coupling/decoupling system, 2013(11), 826-831.
- Oh, S-M., Kwak, H-C., Kang, S-W., and Kim, H-S., (2021), A Study on Stop-Pattern of the Freight Train in the Urban Railway, *Journal of Korean Society for Urban Railway*, 9(4), 1041-1047, DOI : 10.24284/JKOSUR.2021.12.9.4.1041
- Shim, J-I., Yu, J-B. and Park, I-K., (2005) Consideration of the Social Cost of Transportation, The Korea Transport Institute.
- Son, S-H., Choi, D-G. and Jang, J-W., (2021) Deep Learning-based Parcel and Classification System Development research, Proceedings of the Korean Institute of Information and Communication Sciences conference, 25(2), 323-325.
- Statista (2022), Global parcel shipping volume between 2013 and 2027 (in billion parcel), <https://www.statista.com/statistics/1139910/parcel-shipping-volume-worldwide/>, accessed on 2022.10.04.
- Yoon, Y-K., Oh, S-C., Lee, K-M., Jo, H-J. and Kim, Y-K., (2011), A Study of Operational Scenarios for the Wireless communications Based Train Control System, *The Korea Society for Railway*, 2011(5), 904-909.

Appendix

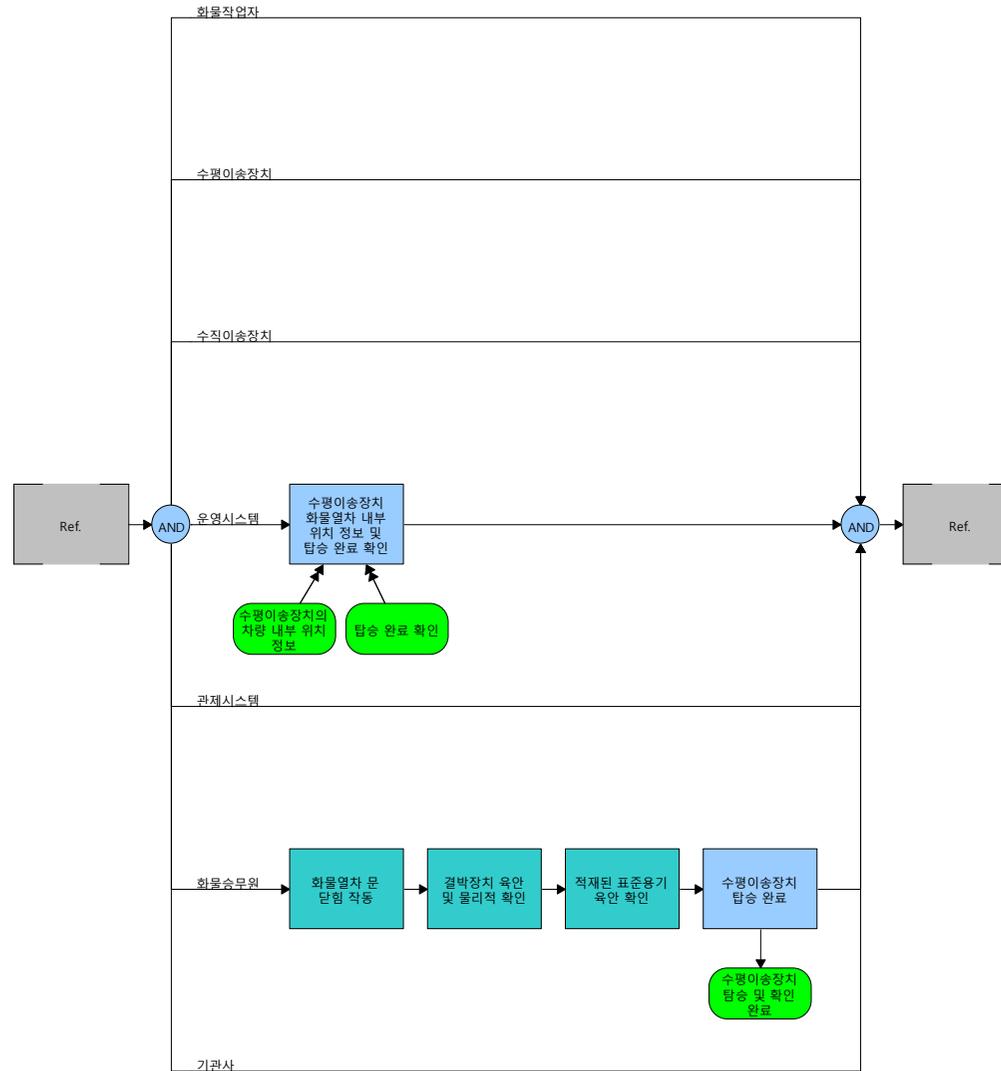
1) 수평이송장치 하차 시나리오



2) 수직이송장치 탑승 시나리오



3) 수평/수직이송장치 결박 시나리오



요약문

COVID-19 팬데믹은 물류량 급증으로 인해 세계적인 사회·경제적 이슈를 초래하였다. 이에 대응하기 위한 대안으로, 여러 국가에서는 도시철도의 활용 가능성에 대한 연구를 실시하였다. 그러나, 지하공간을 활용하는 물류 운송 시스템을 위한 통합적이고 구체적인 프레임워크를 마련하는 과정에서는 여전히 어려움이 존재한다. 본 연구는 한국에서 개발 중인 지하공간(도시철도 인프라)을 활용한 도시물류시스템에 대한 새로운 시나리오 개발을 수행하였다. 시나리오 개발은 EFFBD 기반의 모델을 도입하여 수행되었으며, 시간선 분석을 통해 그 유효성을 검증하였다. 검증 과정에서 초기 하위 시스템 표준이 성공적으로 확립된 것을 확인했고, 이는 실제 환경에서 모델의 잠재적 적용성을 시사한다. 본 연구는 지하공간을 물류 네트워크에 통합하는 가능성을 제시함으로써, 지하물류 분야에 관한 후속 연구를 촉진하는 중요한 발판을 제공한다. 지하공간의 활용 가능성을 제시함으로써, 물류 분야의 지속 가능한 발전을 도모하고 도시 물류 시스템에 대한 학술적 및 실무적 논의에 결정적인 기여를 할 수 있을 것으로 기대한다.

주제어: 지하 화물 체계, 운영 시나리오, 향상된 기능흐름 블록 다이어그램, 시간선 분석